

L'OUVRAGE D'ART EXCEPTIONNEL DE FRANCHISSEMENT DE LA RAVINE TROIS BASSINS A LA REUNION

Patrick CHARLON, Vincent BONNEFOUS

Eiffage TP

Jacques FRAPPART

Arcadis

L'ouvrage d'art exceptionnel de franchissement de la Ravine Trois Bassins est un élément essentiel de la Route des Tamarins en cours de construction à la Réunion.

Long de 375 m, il franchit avec élégance une ravine de 70 m de profondeur au régime torrentiel en cas de pluie cyclonique.

La finesse architecturale et l'intégration parfaite au site ont conduit à la réalisation d'un ouvrage précontraint monocaisson braconné muni d'une précontrainte extradossée, rarement réalisée en France, se caractérisant par une très grande complexité tant au niveau des études qu'au niveau de la réalisation.

L'ouvrage s'achèvera mi-2008.

1. SITUATION DU PROJET

Le Viaduc de la Ravine des Trois Bassins est l'un des quatre ouvrages d'art exceptionnels des 33,7 km de la Route des Tamarins qui relie Saint Paul à l'Etang Salé en deux fois deux voies.

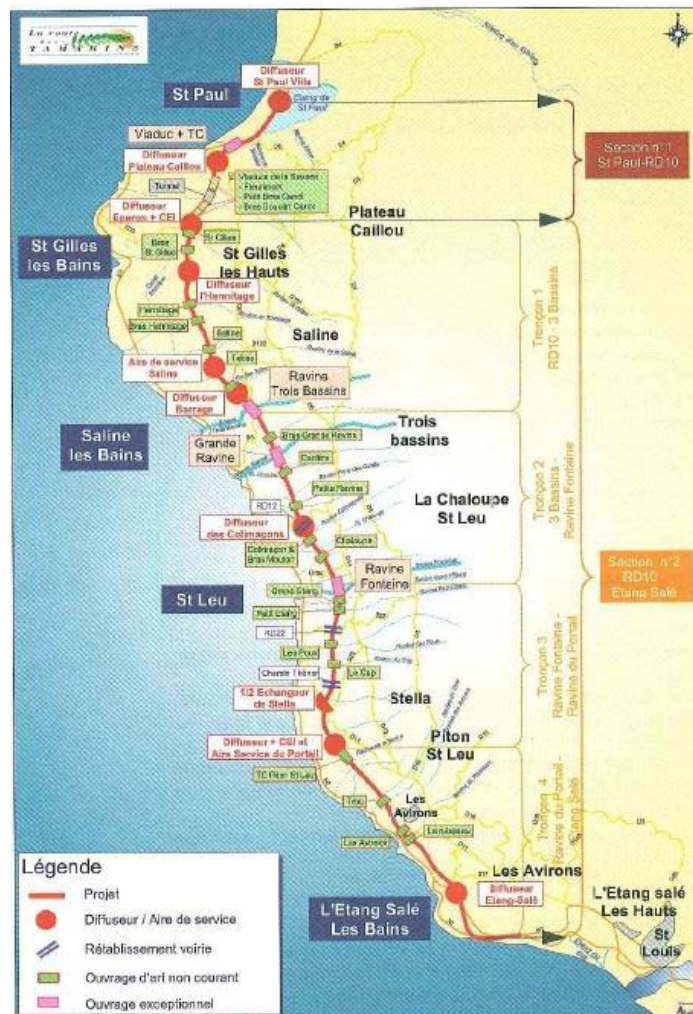


Figure 1 – Tracé de la Route des Tamarins



Outre ces quatre ouvrages, la Route des Tamarins comprend trois tunnels et 23 ponts non courants (OANC).

Le relief volcanique particulier de l'île de la Réunion contraint cette route à franchir plus de 120 ravines.

L'investissement global est de l'ordre de un milliard d'euros. Ce projet permet notamment :

- de soulager le trafic routier côtier actuellement saturé (65 000 véhicules/jour)
- de favoriser le trafic industriel entre le Nord et de Sud de l'île
- de désenclaver et favoriser le développement de la population des "Hauts"
- de fournir un nombre important d'emploi locaux, pendant la période de réalisation des travaux, c'est à dire sur la période 2004/2009.

L'ouvrage se situe sur la section 2 (RD 10 / Etang Salé) et sert de liaison entre les tronçons 1 et 2 (les TOARC 1 et 2 sont également réalisés par le groupement Eiffage TP/Razel/Matière).

La Région Réunion a délégué la maîtrise d'ouvrage à la DORT (Direction des Opérations Route des Tamarins) qui gère l'ensemble du projet jusqu'à son achèvement prévu mi-2009.

2. PRÉSENTATION DU PROJET

A l'issue d'un concours de maîtrise d'œuvre, le projet du Viaduc a été confié au groupement Arcadis, Coteba, Strates (Cabinet d'Architectes) et la solution viaduc extradossé en béton précontraint a finalement été retenue.

A l'issue d'un appel d'offre restreint le marché a été notifié au groupement Eiffage TP (mandataire), Razel, Matière. Son montant H.T. est de l'ordre du 30 millions d'euros ; l'ordre de service de démarrer les travaux est daté du 18/07/05 pour une durée globale de 36 mois.

La géographie du site a conduit à un ouvrage très dissymétrique car la brèche en rive droite de la Ravine est large et profonde. Du nord vers le sud de l'île, les portées des quatre travées sont ainsi (figure 2) :
126,00 m - 104,40 m - 75,60 m - 43,20 m

La longueur totale du tablier est de 374 m compte tenu de la longueur du contrepoids C0/C'0 au nord.

Le tablier repose sur trois piles indépendantes P1, P2, P3 à fûts oblongs évidés de hauteurs variables (48m, 37m et 8 m du nord au sud).

Le tablier est un mono caisson (largeur 22 m) en béton précontraint construit par encorbellements successifs avec bracons métalliques et câblage extradossé à partir des piles P1 et P2. Le caisson à âmes inclinées vers l'intérieur est très effilé avec une hauteur de 4,00 m, des goussets sur piles font passer cette épaisseur à 7,00 m sur P1, 5,80 m sur P2 et 5,20 m sur P3 (figures 3 et 4). Les voussoirs courants ont une longueur de 3,60m.

La pente longitudinale du nord vers le sud est de 3% en descente.

Les architectes ont souhaité donner un mouvement d'homothétie de C4 vers C0 aux travées, à la hauteur des mâts et aux fûts de piles, les listels des fûts ayant eux aussi des espacements homothétiques d'une pile à l'autre.

3. PHASAGE ET PROGRAMME DES TRAVAUX

Le phasage général des travaux est donné par la figure 4.

Il est à noter que le tablier est réalisé transversalement en deux phases (figure 3) :

1ère phase : noyau central

2ème phase : encorbellements latéraux et précontrainte transversale

Ce choix permet de sortir la pose des bracons métalliques du cycle des voussoirs coulés en encorbellement et simplifie la constitution et la manipulation des équipages mobiles. Il donne également plus de souplesse dans la réalisation des câbles extradossés.

Le planning d'ensemble est donné en figure 5.

La photo 1 donne l'avancement du chantier en janvier 2008.

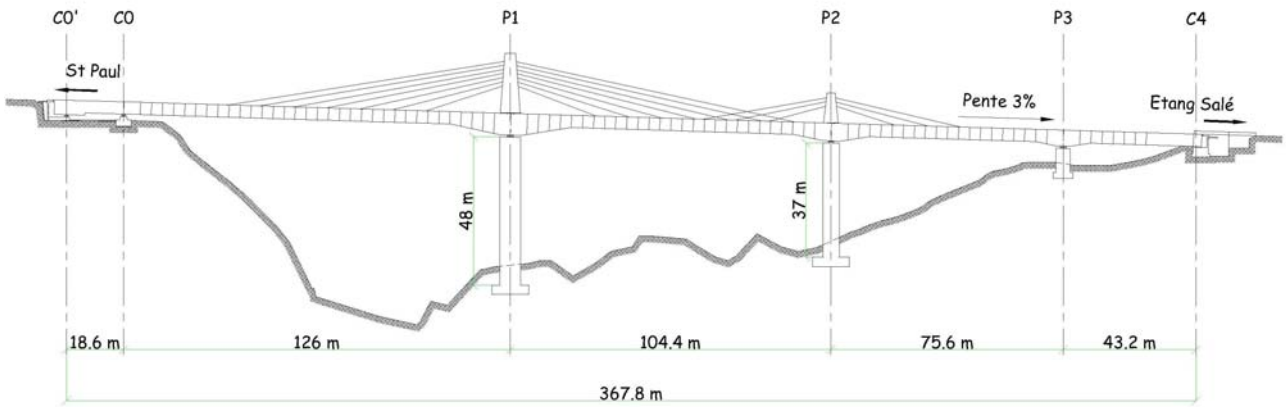


Figure 2 – Coupe longitudinale

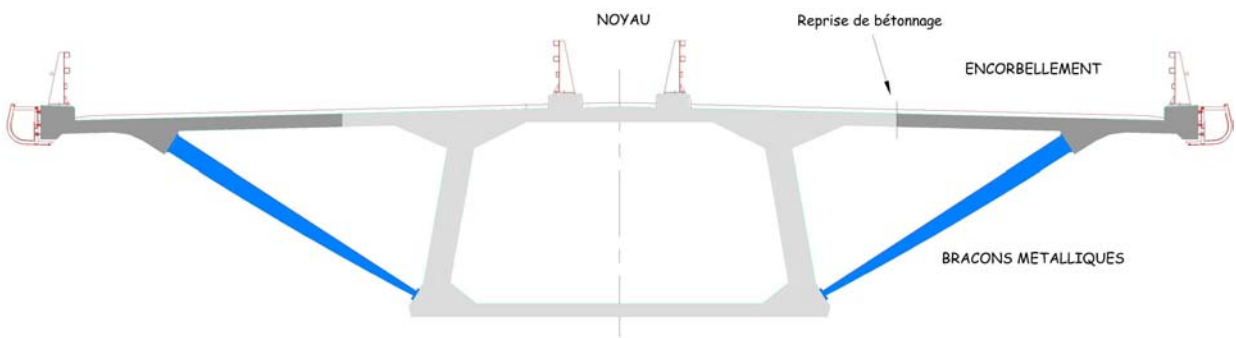


Figure 3 – Coupe transversale



Photo1 – Avancement du chantier en janvier 2008

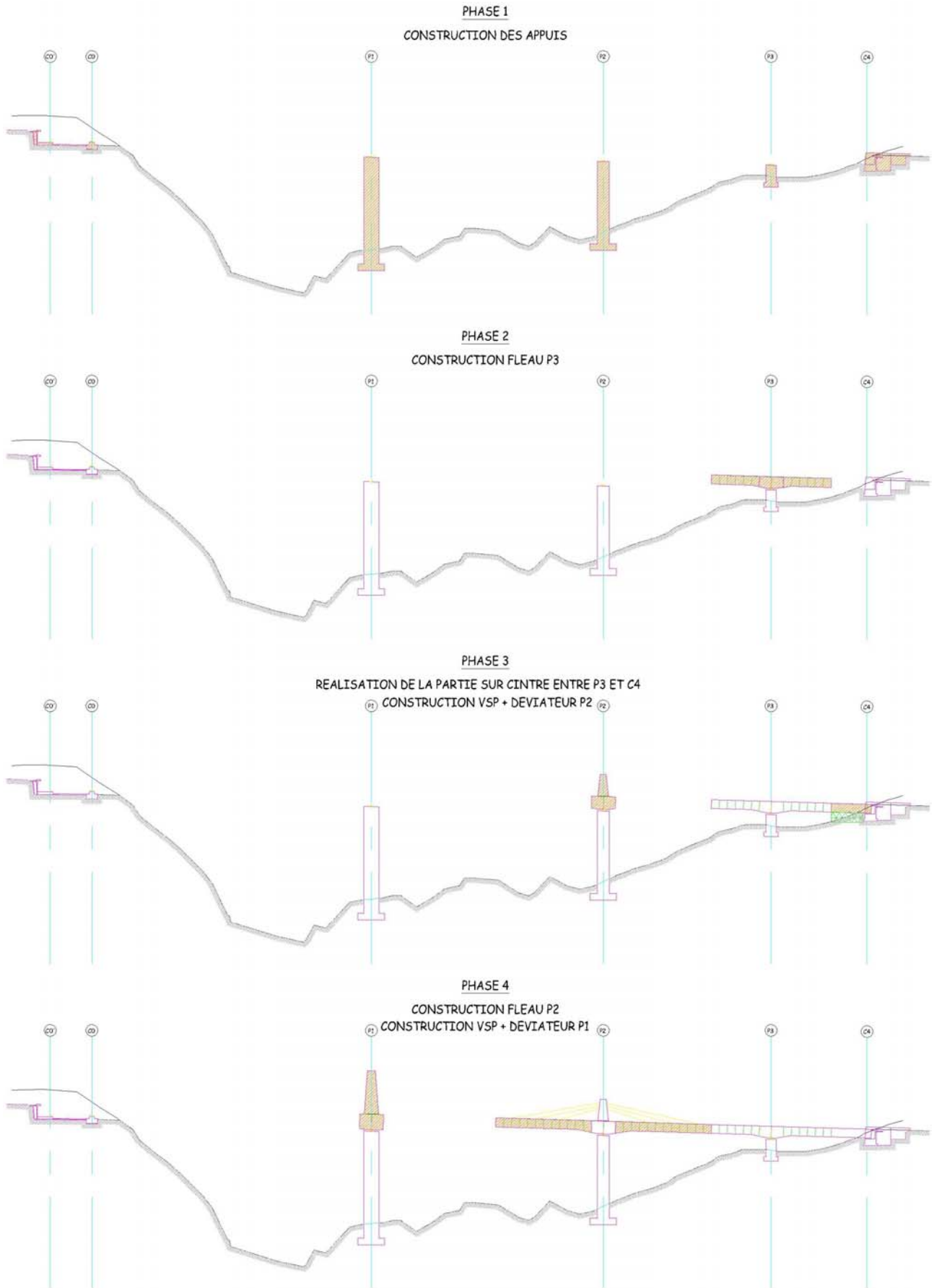


Figure 4-1 – Phasage général des travaux (phases 1 à 4)

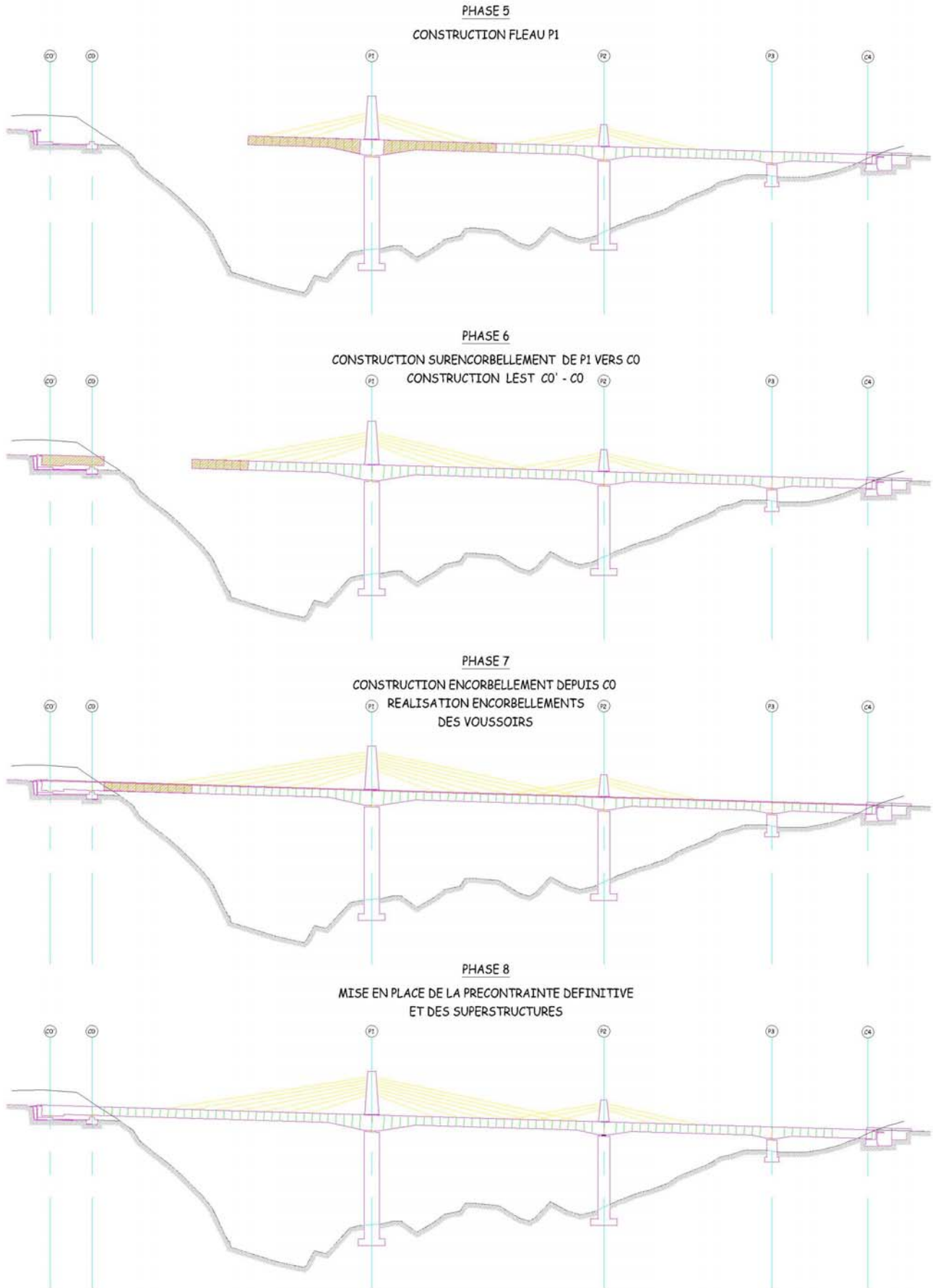


Figure 4-2 – Phasage général des travaux (phases 5 à 8)

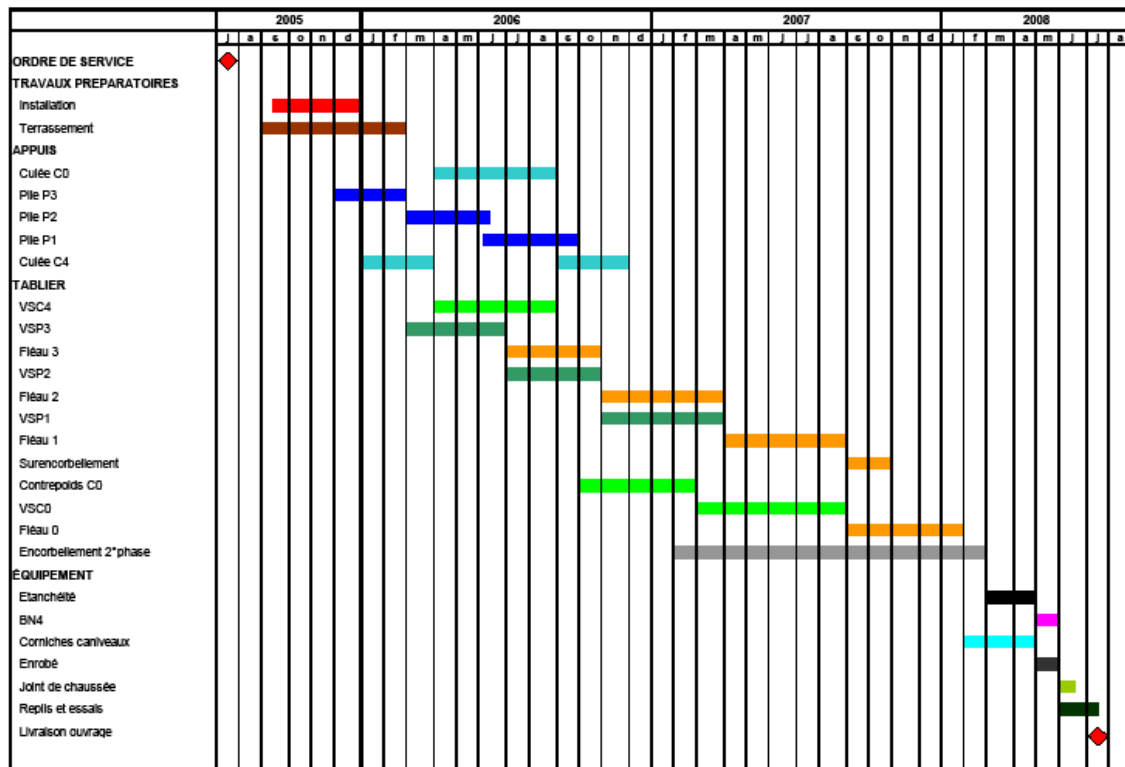
FIGURE 6
PROGRAMME DES TRAVAUX

Figure 5 – Planning d'ensemble

4. ÉTUDES ET TRAVAUX PRÉPARATOIRES

LES ÉTUDES

La technique de la précontrainte extradossée, très peu utilisée en France, a permis une économie importante de matière (l'épaisseur du tablier en béton est réduite de 30%) et une très bonne intégration dans le site (tablier très effilé ne masquant pas le site situé dans une zone classée ZNIEFF).

Cette technique occasionne par contre des études d'exécution très longues et souvent itératives du fait de la grande sensibilité de la structure à tous les paramètres de calcul (températures, fluage, tension des câbles extradossés, effet de la précontrainte de continuité, poussées au vide, etc...).

Les études au vent cyclonique ont été également prises en compte en phase de construction et en service.

LES BÉTONS

Les bétons retenus sont les suivants :

- béton de propreté : B16
- béton de substitution : C25/30
- béton de semelle : C35/45
- béton d'appui piles et culées : C45/55
- béton de tablier : C60/75

Lafarge Sobex a monté à proximité du site du viaduc une centrale principale et une centrale de secours ; elles alimentent le viaduc et d'autres chantiers voisins.

Si la mise au point des bétons d'agrégats basaltiques s'est faite de façon assez rapide jusqu'au C45 car les formules correspondantes sont assez usitées sur l'île, il n'en a pas été de même pour le C60/75 (réalisé une fois dans l'île sur un autre chantier).

Nous avons cherché à :

- limiter l'impact de la variation éventuelle de la qualité des granulats variant en fonction de la zone d'emprunt.
- limiter l'échauffement des bétons en cours de prise.

- appréhender les effets du fluage sur la structure en mesurant le vrai module d'élasticité à court terme ($E_i = 33500$ MPa).
- garantir une maniabilité fiable (pompage, vibration).
- garantir un aspect acceptable du béton et le plus constant possible.

De nombreux éléments témoin, ainsi qu'un voussoir d'essai, ont été réalisés à cet effet ; ces essais ont également permis de mettre au point le coulage des âmes inclinées à l'envers (bullage notamment).

La composition du béton C60/75 a finalement été la suivante :

Type	Constituant	Dosage	Unité
Granulat	0/4 - 4/10 - 10/20	1850	Kg
Ciment	CEM I 52,5	420	Kg
Adjuvant	OPTIMA 100	2%	Kg
Eau totale		190	l
Cendres volantes		8% du dosage en ciment	

La maturométrie a été mise au point sur le site ; elle a été utilisée pour les piles et est utilisée actuellement pour le décoffrage des voussoirs et leur mise en précontrainte.

CAMPAGNE GEOTECHNIQUE COMPLEMENTAIRE

Elle a été réalisée par des entreprises réunionnaises (SEGC/FORINTECH) possédant une bonne connaissance de la géologie de l'île.

Dans sa généralité, le sol de fondation se caractérise par des coulées basaltiques très dures ("roche PINTADE") et par des alternances de couches mugéarite-scories. On a pu constater cependant une grande discontinuité entre les sondages, parfois très proches l'un de l'autre.



Photo 4 – Béton de substitution sur C4



Photo 5 – Coffrage de la pile P3

PISTES ET PLATEFORMES

L'exiguïté du site et les exigences de protection de l'environnement ont nécessité la réalisation de plateformes à plusieurs niveaux, reliées par des pistes. Les terrassements se sont faits dans des conditions très difficiles, dans une alternance de blocs instables et de roches très dures nécessitant le BRH (cadences très faibles ; usure surprenante des outils) et parfois l'explosif.

Un risque d'éboulis important a été découvert lors du débroussaillage de l'accès à la plateforme de la culée C4, qui a nécessité la fermeture du RD9 pour permettre la purge du versant provoquant un arrêt de chantier.

Par ailleurs, des filets de protections (grillages métalliques) ont été mis en œuvre en plusieurs endroits du chantier (fouilles, talus).



5. LA RÉALISATION DES APPUIS

LES FONDATIONS

Comme prévu au marché, les piles P1, P2 et P3 ont été fondées superficiellement, après des terrassements très laborieux au BRH et à l'explosif en dernier recours ; des bétons de substitution ont été effectués (P1, P2 et P3) de façon à garantir une assise saine et homogène en terrain dur.

Le marché prévoyait les fondations des culées C0 / C'0 et C4 sur micropieux.

Compte tenu des nombreux sondages complémentaires qui ont permis de définir l'alternance des couches, leurs épaisseurs respectives et les pendages, et en accord avec le maître d'œuvre et les contrôles externes et extérieurs, il a été décidé de remplacer les micropieux par des bétons de substitution d'épaisseurs variables pour les culées (photo 4). Un clouage vertical complémentaire a du être effectué sur C0, sur la face avant de la semelle compte tenu de la nature du terrain rencontré qui se compose d'une succession de couches de basalte et de scories.

La suppression des micropieux a occasionné une économie importante pour le projet.

LES SEMELLES DES APPUIS

La semelle de la pile P1 a été coulée pleine fouille.

Les autres semelles ont été réalisées de façon classique avec des banches SATECO butées en pied et tenues en tête par les tiges de coffrages.

LES FUTS DE PILES

Les trois piles ont la particularité d'avoir des sections différentes.

Elles sont de forme ovoïde, creuse, avec un changement de section sur la hauteur du fût (épaisseur passant de 60 cm à 80 cm).

Pour des raisons architecturales, la hauteur des levées est différente pour chaque pile :
2,00 m pour P3 - 3,00m pour P2 - 4,00 m pour P1.

La pile P3 a été réalisée à l'aide d'un coffrage bois spécifique (photo 5).



Photo 6 – Coffrage des piles P1 et P2

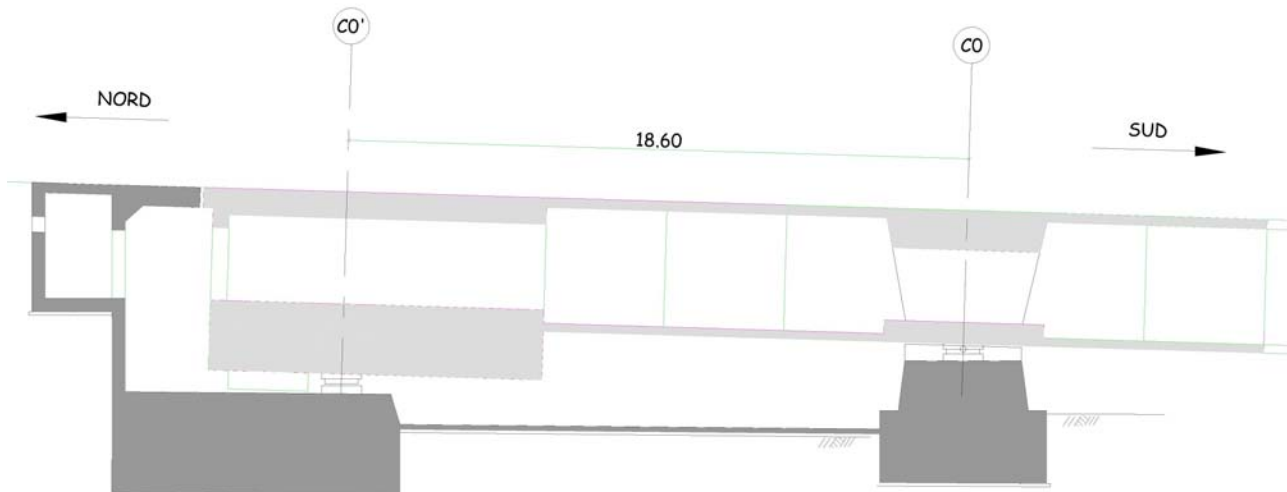
Les piles P2 et P1 ont été réalisées avec d'un coffrage bois semi-grimpant DOKA (photo 6).

Trois levées sont nécessaires au déploiement complet du coffrage (consoles et passerelles de finitions). Deux levées sont ensuite nécessaires pour modifier le coffrage et la passerelle intérieurs lors du changement de section.

Les cadences de production ne sont vraiment respectées qu'à partir de la 6ème levée, compte tenu du temps nécessaire au montage et démontage des coffrages.

Pour le chevêtre, le coffrage intérieur est démonté, le coffrage extérieur du fût reste en place et une prédalle permet de coffrer la sous face.

REALISATION DE L'ENSEMBLE CULEE CONTREPOIDS C0/C'0 (figure 6)



Le contrepooids C'0 a les dimensions suivantes:

- Longueur : 10.00 m
- Largeur : 20.00 m
- Hauteur moyenne : 5.40 m

Il comporte une galerie centrale (5.00 m de large, 2.55 de hauteur) permettant l'accès à l'intérieur du tablier.

Le contrepooids est réalisé en cinq phases successives d'une hauteur de l'ordre de 1.00 m, afin de limiter les montées en températures du béton après coulage.

Le voussoir sur culée VSC0 est construit en parallèle avec le même coffrage que les Voussoir sur Pile.

La travée de 9.00 m qui relie ces deux éléments est réalisée en dernier.

LES APPAREILS D'APPUI

Ils sont du type appareils d'appui à pot en néoprène Téfion de fourniture ETIC, fixes ou glissants.

Ils sont injectables de façon à sécuriser les mises sur appuis définitifs, à mesurer les réactions d'appui réelles de l'ouvrage en phase de travaux et en service, à permettre un éventuel changement futur plus facilement.

6. LEVAGE

L'ensemble du chantier est réalisé avec trois grues à tour.

Grue G3 et G0 : MD 365 L16

Montage en P3 pour réaliser la culée C4, la pile P3 et le fléau P3 ; puis transfert sur C0 pour réalisation de la travée C0 – C'0 et le fléau C0.

Grue G2 – MD 345 L16

Réalisation de la pile P2, du fléau P2 et des encorbellements 2ème phase.

Grue G1 : K5/50C

Réalisation de la pile P1, du fléau P1 et des encorbellements 2ème phase.

La culée C0 a été réalisée à l'aide d'une grue automotrice de 35 tonnes.



7. RÉALISATION DU TABLIER

VOUSSOIRS SUR PILE

Le même coffrage SIMPRA permet de réaliser les voussoirs sur piles et culées dans l'ordre suivant :

VSP3 - VSC4 - VSP2 - VSP1 - VSC0

La plateforme de travail a une géométrie différente en fonction de la dimension des piles ; elle est fixée au fût par consoles. Les panneaux coffrants extérieurs ont 10,80 m de longueur et une hauteur variable de 5,20 m à 7,50 m.

Les coffrages intérieurs mixtes bois/métal ont été fabriqués sur chantier.

Les VSP1 et VSP2 sont prolongés verticalement par les mâts déviateurs de précontrainte extradossée ; ils sont équipés de selles de déviation dans lesquelles sont enfilés les câbles de précontraintes extradossés.

Ces mâts sont coulés à l'aide de banches traditionnelles ; en phase finale ils sont revêtus par des plaques en béton blanc poli avec incrustation de granulats en marbre de GRECE.

REALISATION TRANSVERSALE DE LA SECTION

Comme vu ci-dessus, la réalisation du tablier est prévue en deux phases.

Outre les avantages mentionnés précédemment, ce mode constructif présente les avantages suivants :

- Equipage et voussoirs moins lourds permettant de faire des économies de précontrainte de fléau.
- Simplification de l'équipage, notamment pour la pose des bracons.
- Possibilité de réaliser la deuxième phase d'un bout à l'autre du tablier sans démontages intermédiaires si les calculs le permettent.
- Possibilité de faire des plots de béton en deuxième phase d'une longueur plus importante que la longueur d'un voussoir (7,20m dans le cas présent).

Par contre, les inconvénients peuvent être les suivants :

- Difficulté de mise en place des aciers pour la deuxième phase.
- Raccordement de la précontrainte transversale en 3 tronçons empêchant les torons gainés graissés.
- Dans le cas d'ouvrages comportant des haubans, la paire d'équipage de deuxième phase doit être désolidarisée pour permettre le passage du coffrage au droit des haubans, ce qui nécessite des ancrages verticaux dans le tablier (coût, délai).

CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPAGE MOBILE 1ère PHASE (photos 2 et 3)

- Longueur d'un voussoir : 3,60 m
- Largeur utile du coffrage 1ère phase : 10,50 m
- Hauteur utile du coffrage : variable de 6,63 à 4,00 m
- Poids : 55 T par unité
- Largeur maxi du caisson central : 8,00m avec âmes inclinées vers l'intérieur
- Epaisseur des âmes : 50 cm ou 75 cm
- Le coffrage intérieur permet de réaliser les poutres transversales supérieures et les bossages de la précontrainte extradossée.
- Nombre : 2 unités.

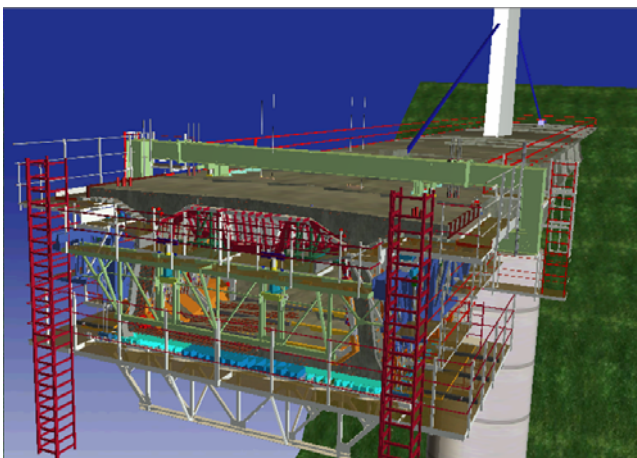


Photo 2 - Equipage mobile 1ère phase



Photo 3 - Equipage mobile sur le fléau P3

CARACTERISTIQUES DE L'EQUIPAGE MOBILE 2ème PHASE (figure 7)

- Longueur utile : 7,20 m
- Largeur utile : 5,77 m
- Epaisseur du hourdis sup. : 25 cm
- Poids : 25 T par unité
- Le coffrage permet la pose des bracons grâce à des trappes amovibles
- Nombre : 2 unités.

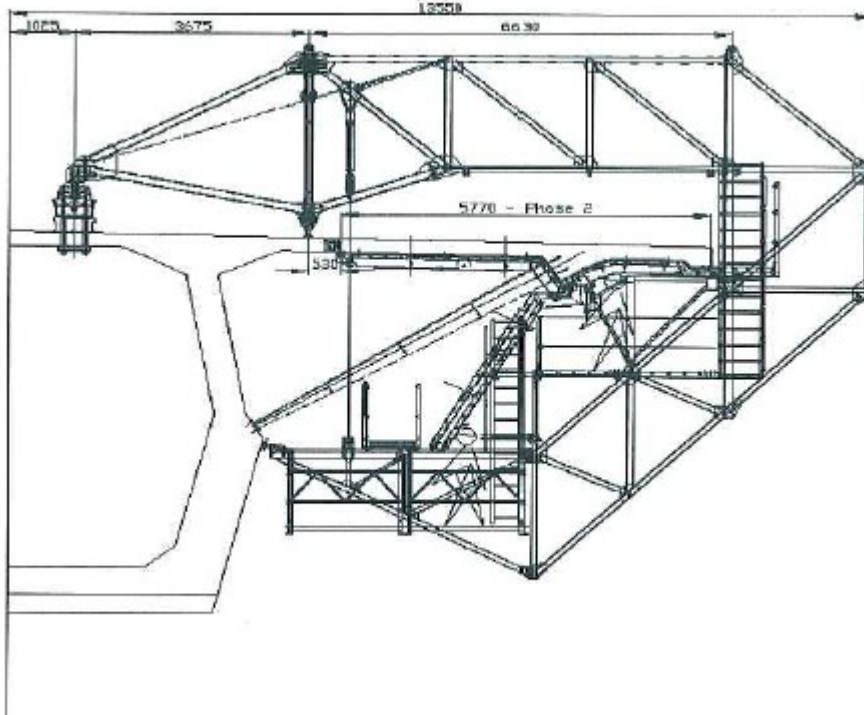


Figure 7 - Equipage mobile en 2^{ème} phase

CYCLE DES VOUSOIRS

La figure 8 donne le cycle d'un voussoir courant.

Un voussoir sur trois pour les fléaux 1 et 2 comporte une poutre intérieure de précontrainte extradossée sur laquelle s'ancrent les câbles extradossés.

Le coffrage intérieur du noyau est ainsi modifié et le cycle passe à quatre jours.

8. LA PRÉCONTRAINTÉ

Elle revêt un caractère essentiel pour ce type de structure.

Pour ce Viaduc, Eiffage TP Division Précontrainte met en œuvre le système DSI.

Cette précontrainte revêt les multiples aspects suivants :

- Précontrainte de clouage des VSP sur les piles câbles 19T15S :

Câbles verticaux ancrés en sous-face du chevêtre et dans plots provisoires sur le tablier.

- Précontrainte de fléau et câbles éclisses :

Câbles 12T15S et 19T15S ; 160 tonnes d'armatures et 316 ancrages.

- Injection coulis de ciment.

- Précontrainte transversale : câbles 4T15S, espacement 0,60 m, 63 tonnes d'armatures avec 1200 ancrages.

Les gaines sont plates, manchonnées à la reprise noyau / encorbellement ; les ancrages sont du type plat BBR (encombrements avec les ancrages des BN4) ; l'injection se fait au coulis de ciment Superstressement.

